식물병연구
Res. Plant Dis. 14(3) : 193-200 (2008)

Research in Plant Disease
©The Korean Society of Plant Pathology

달걀껍질이 배추의 생육과 무사마귀병 발병억제에 미치는 영향

김병관 · 임태헌[1] · 김윤희 · 박석환[2] · 이상화[3] · 차병진*
충북대학교 식물의학과, [1](주)삼호유비 농생명과학연구소, [2]서원대학교 환경건설정보학과,
[3]서원대학교 식품영양학과

Effects of Eggshell Powder on Clubroot Disease Control and the Growth of Chinese Cabbage

Byeongkwan Kim, Tae Heon Lim[1], Youn-Hee Kim, Seok-Hwan Park[2], Sang-Hwa Lee[3] and Byeongjin Cha*
Department of Plant Medicine, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea
[1]Research Institute of Agri-Bio Science, Samhoub Co., Ltd., Sangju 742-130, Korea
[2]Department of Environmental, Civil Engineering and Information Systems, Seowon University, Cheongju 361-742, Korea
[3]Department of Food and Nutrition, Seowon University, Cheongju 361-742, Korea
(Received on November 10, 2008)

Blending of eggshell powder into soil as ratio of 1:5, 1:10, 1:15, 1:20, and 1:25 did not affect seed germination rates of several crops including Chinese cabbage. The blending increased pH of distilled water and decreased the viability of resting spores of *Plasmodiophora brassicae*. The ratio of non-viable resting spores in eggshell-blending water was over five times higher than in distilled water of the same pH. Chinese cabbage (cv. 'Norangbom') grew more in eggshell-blended soil than in non-treated soil, but other crops grew less. Leaf numbers and above ground growth of Norangbom increased to around 150% and 470%, respectively, in soil blended with 1:20~1:15 of eggshell powder. Even though the optimum sizes of eggshell powder were 0.8~2.0 mm for growth and smaller than 0.4 mm for inhibition of clubroot disease of Chinese cabbage, there was no statistical difference among the sizes. Soil pH was above 8.0 in all eggshell treatments without any statistical difference among them. Eggshell powder blending to 1:20 showed lower control efficacy, 58.5%, than registered fungicide 'Hokanna (flusulfamide)', 78.5%. However, Chinese cabbage of that blending ratio recorded the highest growth among the treatments. Therefore, blending of eggshell powder into clubroot-contaminated soil may make culture of Chinese cabbage possible by growth-increasing, even though eggshell powder could not inhibit clubroot disease entirely.

Keywords **: Chinese cabbage, Clubroot, Control, Eggshell, *Plasmodiophora brassicae***

최근 재배기술의 발달로 하우스와 여름철 재배 면적이 늘어나고 십자화과 작물을 연작하는 곳이 많아지면서, 토양 병원균인 *Plasmodiophora brassicae*에 의한 배추 무사마귀병의 피해가 계속 증가하고 있다. 1920년에 수원과 서울에서 처음으로 발병이 보고된 배추 무사마귀병은 그 이후로 우리나라에서는 발병기록이 거의 없었지만, 1991년도와 1994년도 사이의 연구보고(함 등, 1998)에 의하면, 이 병은 우리나라 전역에 걸쳐 발생이 확산되고 있으며, 특히 고랭지배추 생산지인 강원지역과 겨울배추 재배지인 전남해남지방에서 피해가 크다고 한다. 실제로 1997년에는 우리나라 각지에서 대발생 하였으며(김과 오, 1997), 현재 배추재배에 있어서 매우 심각한 문제를 일으키고 있다. 배추가 무사마귀병에 감염되면 뿌리가 비대 생장하여 혹을 만들며, 심하면 썩는 경우가 많기 때문에 양분 이동이 어려워 지상부 생육이 눈에 띄게 감소한다.

배추 무사마귀병은 온도가 비교적 낮고 비가 자주 와서 습하고, pH 6.0 이하인 산성 토양에서 잘 발생한다(Buczacki와 White, 1979). 휴면포자의 발아최적 pH는 6.0~6.2이고, pH 8.0 이상에서는 발아할 수 없다(김 등,

*Corresponding author
Phone) +82-43-261-2557, Fax) +82-43-271-4414
E-mail) bjcha@cbnu.ac.kr

2000b). 따라서 토양의 수분관리를 철저히 하고 pH를 높게 유지시켜 준다면 이 병의 발생을 줄일 수 있는 것으로 알려져 있다(Osozawa 등, 1994).

지금까지의 무사마귀병 방제약제로는 합성살균제인 플루설파마이드(상표명: 혹안나)와 플루아지남을 포함하여 모두 8종이 등록되어 있으나, 뛰어난 방제효과를 보이는 약제는 세계적으로도 아직 없기 때문에 방제에 어려움이 많다(Tanaka 등, 1999). 또한, 합성살균제는 환경에 주는 스트레스도 크기 때문에 문제가 되고 있다. 살균제 사용 이외에 경종적 방제로는 윤작이나 저항성품종(CR품종) 재배 등이 있으나 이 또한 크게 효과를 얻지 못하고 있다(Asano 등, 1999). 무사마귀병원균은 레이스(race) 분화가 많은 병원균으로, 세계적으로 16개 레이스가 알려져 있으며 우리나라에서는 14개 레이스가 밝혀져 있다(농촌진흥청, 2001). 저항성품종은 각 레이스에 대한 반응이 다른데, 실제 농경지 토양 내에는 여러 종류의 레이스가 함께 존재하기 때문에 저항성품종의 이용에도 어려움이 따르고 있다.

무사마귀병이 발생하려면 토양 내에 존재하는 휴면포자가 발아하여 유주포자가 작물의 뿌리털을 침해하여야 하는데, Myers와 Campbell(1985)의 연구에 의하면 Ca^{2+} 이온이 휴면포자의 발아를 억제하여 발병을 감소시키는 것이 확인되었다. 또한, Takahasi 등(2002)은 무의 저항성 품종에서는 감수성 품종에서보다 PAL(phenylalanine ammonia-lyase)이 5배 정도 증가하는데, 이는 Ca^{2+}에 의하여 유기되는 것이라고 보고하였다. PAL은 기주식물체의 방어반응 발현에서 생성되는 물질이다. 따라서, Ca^{2+}을 주성분으로 하는 물질을 토양에 섞어주면 무사마귀병을 효과적으로 방제할 수 있을 것이다.

Ca^{2+}을 많이 함유하고 있는 물질들 중 우리 주변에서 쉽게 구할 수 있는 것으로는 석회, 패화석, 달걀껍질 등이 있는데, 이중 달걀껍질은 1999년 통계청보고에 의하면 우리나라 한달 달걀소비량이 약 8억 개로서 현재 심각한 산업폐기물로 까지 인식되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 Ca^{2+}원으로서 달걀껍질을 선발하여 배추재배에 응용함으로써 달걀껍질이 무사마귀병 발생과 배추 생육에 미치는 영향을 알아보고, 그것을 토대로 효과적인 병 방제 방안을 확립함으로써 배추 무사마귀병의 환경친화적 방제법 개발에 기여하고자 한다.

재료 및 방법

배추, 병원균 및 달걀껍질. 노랑봄배추(*Brassica campestris* cv. Norangbom, 흥농종묘) 종자를 원예용 상토(바로커)에 옮겨심고 본엽이 3-4 장이 될 때까지 온실에서 육묘하여 실험에 사용하였다.

접종원으로는 충북 청주시 미호천 하상의 무사마귀병 발병이 심한 밭에서 배추 뿌리혹을 채집하여 -80°C 얼려서 보관하며 필요할 때마다 꺼내어 사용하였다. 얼어있는 뿌리혹은 잘게 썰고 멸균수를 충분량 첨가하여 믹서로 갈아 그 현탁액을 8겹의 거즈(chese cloth)로 거른 후 원심분리(3,000 rpm, 10분)하였으며, 바닥에 가라앉은 갈색의 침전물(휴면포자)을 다시 멸균수에 풀어서 접종원으로 사용하였다(Narisawa 등, 1996). 휴면포자의 밀도는 혈구계산기를 이용하여 10^7 포자/m*l*로 맞추었으며, 이 휴면포자 현탁액을 배추모가 자라고 있는 포트에 10 m*l*씩 관주하는 방법으로 접종하였다.

달걀껍질은 부화장에서 부산물로 나온 것을 물로 씻고 바람에 잘 말린 후 분쇄기(cutting mill, 건흥전기(주))로 가루를 만들어 실험에 사용하였다 특별한 경우를 제외하고는 입자의 크기가 2 mm 이하였으며, 원예용 상토와 달걀껍질과의 배합비율(v/v)은 5:1에서 25:1 까지 5배 간격이었다. 달걀껍질의 무사마귀병 방제 효과를 비교할 대조구에는 무사마귀병 방제용 살균제인 혹안나(주성분: 플루설파마이드)를 재배토양에 혼화(20 kg/10 a)하였다.

달걀껍질 혼합액에서의 휴면포자 활성. 위와 같이 준비한 입자 크기 2 mm 이하의 달걀껍질을 첨가한 용액과 첨가하지 않은 용액을 1 M NaOH와 1 N HCl을 이용하여 pH 5.5, 6.5, 8.0 등 3가지 수준으로 조정한 뒤 Narisawa 등(1996)의 방법을 참고하여 *P. brassicae* 휴면포자 현탁액을 만들어 활성을 조사하였다. 달걀껍질 처리용액은 달걀껍질과 멸균수를 1:5(v/v)로 섞어서 24시간 정도 실온(20~24°C)에 방치한 후 액체성분 만을 덜어 내어 pH를 조정하였다. 각각의 처리액 10 m*l*에 휴면포자 현탁액 1 m*l*씩 넣고 실온에 보관하며 24시간 간격으로 일정량씩 덜어내어 낙사식 형광현미경(Olympus BX50, Olympus Co., Tokyo, Japan)으로 관찰하였다. 형광현미경 관찰 시 여기필터(excitation filter)는 BP480-550이었으며, 차단필터(barrier filter)는 BA590을 사용하였다(Donald 등, 2002). 휴면포자의 활성을 판정하기 위하여 현미경 관찰 전에 포자를 염색하였는데, 휴면포자 현탁액을 microtube에 1 m*l*씩 넣고 원심분리(1500 rpm, 2분)한 뒤, 바닥에 가라앉은 휴면포자만을 분리하여 ethidium bromide (EtBr, Sigma Co.)와 calcofluor white M2R (Sigma Co.)을 1:1로 섞은 용액으로 30초간 염색하였다(Narisawa와 Hashiba, 1998). 염색이 끝난 휴면포자는 다시 멸균수로 2번 씻어내어 여분의 염색소를 제거한 뒤 현미경으로 관찰하였는데 400배에서 임의로 구역을 정하고 100개의 휴면포자를 대상으

로 불활성포자의 수를 조사하였다. 실험은 10반복하였다.

달걀껍질 배합토양에서의 종자발아율과 작물 생장. 위와 같이 준비한 달걀껍질 토양에 십자화과 작물인 노랑봄배추(흥농종묘), CR그린배추(농우바이오), 함박양배추(흥농종묘)와 비십자화과 작물인 마니따 고추(대농종묘), 백다다기 오이(흥농종묘), 슈퍼도태랑 토마토(코레곤)를 파종한 후 온실에서 관리하며 종자발아율과 작물의 생체중을 조사하였다. 각 식물 종 또는 품종당 씨앗 100 립씩 2반복으로 파종하여 조사하였다.

달걀껍질 처리에 따른 무사마귀병 발병률 변화. 달걀껍질 배합토양을 포트(ø10 cm)에 채우고 본엽이 3~4장인 배추 유묘를 하나씩 옮겨심은 후, *P. brassicae* 휴면포자 현탁액(10^7 포자/ml)을 포트당 10 ml씩 관주하였다. 접종한 배추는 온실에서 50일간 재배한 후 수확하여 발병 정도, 뿌리혹의 무게, 지상부의 무게 등을 조사하였다. 또한 달걀껍질의 입자크기가 무사마귀병 발생에 미치는 영향을 알아보기 위하여 부화장에서 가져온 달걀껍질을 잘 말린 후 으깨고 체로 쳐서 입자의 크기를 0.4 mm 이하, 0.4~0.8 mm, 0.8~2.0 mm, 2.0 mm 이상 등 4가지로 분리하고 토양에 혼합하여 배추를 재배하였다. 달걀껍질과 상토의 배합비율은 1:20(v/v)이었으며, 위와 같이 배추를 이식하고 휴면포자 현탁액을 접종하여 온실에서 재배하였으며, 접종 25일 후에 발병 정도, 뿌리혹의 무게, 지상부의 무게 등을 조사하였다.

발병도 조사와 자료분석. 모든 실험에서 무사마귀병 감염지수는 토양미생물실험법(양과 김, 2002)을 참고하여 0: 뿌리혹의 발생이 없음, 1: 뿌리혹이 세근에 0~10% 정도 발생, 2: 뿌리혹이 세근 또는 주근에 10~30% 정도 발생, 3: 뿌리혹이 세근 또는 주근에 30~60% 정도 발생, 4: 뿌리혹이 세근 또는 주근에 60%이상 발생 등 5계급으로 나누어 조사하였으며, 발병률은 다음과 같이 구하였다. 발병률={(발병지수×각 발병지수의 주수)/(4×조사 주수)}×100. 처리간 결과는 Duncan의 다중검정법(P=0.05)으로 비교하였다.

결 과

휴면포자 활성. 접종원은 모두 자연 감염된 배추의 뿌리혹(Fig. 1A)으로부터 얻었으며, 이들을 주사전자현미경으로 검경한 결과 세포 내에 *P. brassicae*의 휴면포자가 가득 차 있는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 1B). 이 혹으로부터 분리한 휴면포자들을 calcofluor white M2R과 ethidium bromide로 염색한 결과, Fig. 2에서 처럼 활성이 있는 휴면포자는 푸른색 형광을 띄었으므로 활성을 잃은

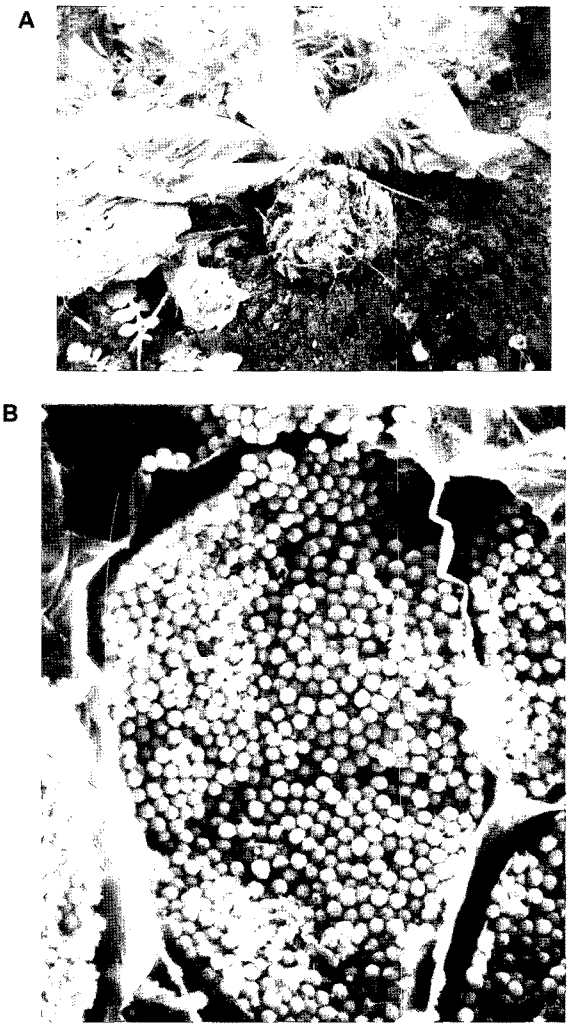

Fig. 1. Typical symptom (**A**) and scanning electron micrograph (**B**) of resting spores of clubroot disease caused by *Plasmodiophora brassicae* on Chinese cabbage.

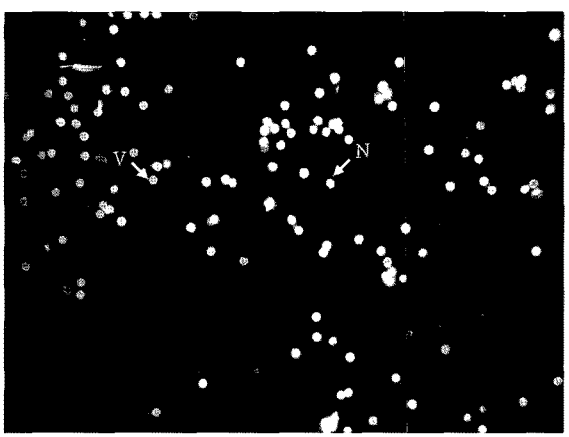

Fig. 2. Fluorescence micrograph of resting spores of *Plasmodiophora brassicae* stained with calcofluor white M2R and ethidium bromide. **V**: viable (spores emitting blue fluorescence from the spore wall) **N**: non-viable (spores emitting red fluorescence).

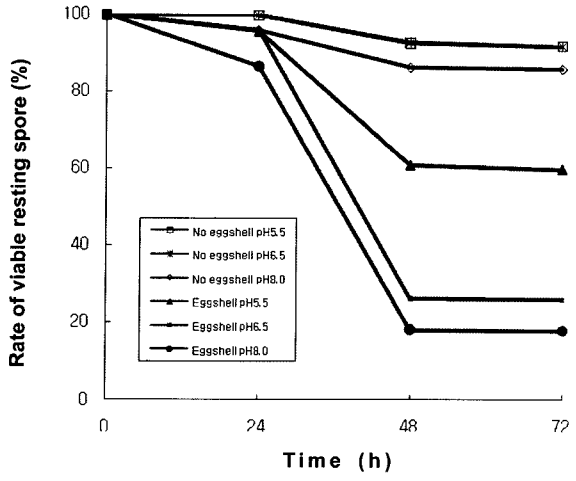

Fig. 3. Changes in effect of eggshell and pH of the medium on the viability of resting spores of *Plasmodiophora brassicae* causing clubroot over time.

휴면포자와 쉽게 구분할 수 있었다. 휴면포자는 현탁액을 만들어 실온에 방치해 둔 시간이 경과함에 따라서 활성을 상실하였는데, 특히 24시간 이후부터는 휴면포자의 활성이 급격히 감소하였다. 달걀껍질을 처리하지 않은 멸균수로 만든 휴면포자 현탁액의 경우 pH 5.5일 때는 72 시간이 경과한 후 포자 불활성화률이 8.2%, pH 6.5인 경우에는 8.3%, 그리고 pH 8.0이었을 때는 14.2%로 나타나, 현탁액의 pH가 높아질수록 휴면포자의 생존율이 떨어진다는 것을 알 수 있었다(Fig. 3). 반면에 멸균수와 달걀껍질을 5:1로 섞어서 걸러낸 수용액으로 만든 휴면포자 현탁액의 경우 pH 5.5에서는 휴면포자 불활성화률이 40.4%, pH 6.5일 경우 74.2%, 그리고 pH 8.0에서는 82.3%로, 순수한 멸균수 휴면포자 현탁액에 비하여 높은 활성억제력을 보였다. 이처럼 pH는 휴면포자의 생존에 영향을 미치고 있으며, 달걀껍질의 첨가는 휴면포자의 활성억제에 있어서 용액의 pH와 큰 상승효과를 보이는 것으로 나타났다.

달걀껍질 배합토양에서의 종자발아. 토양 내에서의 달걀껍질 비율이 5:1 이하에서는 작물의 종자발아에 별다른 영향을 미치지 않았다(Table 1). 다만, 십자화과 작물 중 '노랑봄배추'의 종자발아율은 무처리구에서 96.5%로 다른 처리구에 비하여 가장 높았던 반면, 달걀껍질의 배합비율이 높아질수록 발아율이 줄어들었다. 무사마귀병 저항성인 CR배추는 무처리구에서는 종자가 모두 발아하였으나, 달걀껍질 처리구와 비교하여 통계적 유의차는 보이지 않았다. 양배추(함박)와 고추(마니따)의 종자발아는 토양과 달걀껍질 배합비율 15:1에서 각각 95.5%, 97.0%으로 모두 무처리구에 비하여 높은 발아율을 보였으나 이 역시 처리간에 유의차는 없었다(Table 1). 즉, 토양 중의 달걀껍질 비율은 작물의 종자발아율에 미치는 영향이 미미한 것으로 나타났다.

달걀껍질 배합토양에서의 작물 생육. 달걀껍질 배합토양에서의 작물 생육을 보면 십자화과 작물인 '노랑봄배추'는 토양과 달걀껍질을 20:1로 혼합한 처리구에서 64.0 g으로 가장 높은 생체중을 보였는데, 무처리구와 비교하면 1.6배 정도 무거운 것이었다(Table 2). '노랑봄배추'를 제외한 다른 작물에서는 달걀껍질처리구보다 무처리구에서 생육이 좋았으며, 달걀껍질 배합비율이 높아질수록 생육이 위축되는 경향을 보였으나 달걀껍질 처리구 간에는 통계적 유의차가 없었다.

한편, 배추의 생육에 대한 영향을 좀 더 세부적으로 조사한 결과, 달걀껍질을 혼합한 토양에서의 배추의 엽수는 배합비율 15:1인 처리구에서 16.8장으로 가장 높게 나타났는데, 이는 11.7장인 무처리구보다 평균 5장 정도 더 많은 것이었다(Fig. 4). 또한 지상부 생장을 비교하여 보면 Fig. 5에서 보는 것과 같이 1:20의 비율로 달걀껍질을 혼합한 처리구의 배추는 무처리구의 배추보다 지상부의 생육이 왕성한 것을 볼 수 있는데(Fig. 5), 생체중을 측정하여 보아도 달걀껍질 처리구(53.8 g)에 비하여 무처리구(11.4 g)는 매우 빈약하였다. 달걀껍질을 처리한 토양에 배추를 키우면서 무사마귀병균을 접종하였을 때도 달걀껍질 처리구에서의 배추 지상부의 생체중이 무처리구와 대조약제(혹안나: 플루설파마이드) 처리구에서의 생체중 보

Table 1. Seed germination rates (%) of some crucifers and non-crucifers in soil blended with eggshell powder

Crop	Variety	Eggshell powder : Soil (v/v)					Control (soil only)
		1:5	1:10	1:15	1:20	1:25	
Chinese cabbage	Norangbom	65.0b	73.5ab	81.5ab	89.5ab	80.0ab	96.5a
Chinese cabbage	CR green	96.0a	96.0a	98.5a	93.0a	96.0a	100.0a
Cabbage	Hambac	89.5a	94.5a	95.5a	95.0a	93.0a	90.5a
Pepper	Manita	90.0a	87.5a	97.0a	89.5a	96.0a	81.0a
Cucumber	Bakdadagi	97.5a	92.0a	98.5a	97.5a	99.5a	100.0a
Tomato	Superdoterang	85.0a	93.0a	85.5a	88.0a	88.5a	93.5a

Rates in the row labeled with the same letter are not significantly different in Duncan's multiple range test (P=0.05).

Table 2. Fresh weight (g) of above ground part of some crucifers and non-crucifers grown in eggshell powder blended soil

Crop	Variety	Eggshell : Soil (v/v)					Control (soil only)
		1:5	1:10	1:15	1:20	1:25	
Chinese cabbage	Norangbom	27.8c	40.0bc	49.4ab	64.0a	46.1b	39.9bc
Chinese cabbage	CR green	22.3b	26.4b	24.9b	30.0b	29.5b	38.3a
Cabbage	Hambac	6.9b	13.5ab	14.2ab	11.8b	13.5ab	19.9a
Pepper	Manita	0.2b	3.5ab	6.2ab	6.0ab	6.3ab	9.7a
Tomato	Superdoterang	0.1b	0.6b	2.4b	1.3b	5.1ab	17.8a

Rates in the row labeled with the same letter are not significantly different in Duncan's multiple range test (P=0.05).

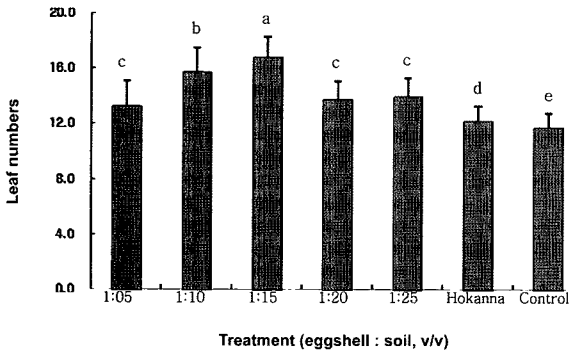

Fig. 4. Effect of eggshell powder blending into soil on leaf growth of Chinese cabbage inoculated with *Plasmodiophora brassicae*. Control: soil only. Hokanna: fungicide for clubroot (20 kg/10 a). Error bars represent the standard deviation. Columns labeled with the same letter are not significantly different in Duncan's multiple range test (P=0.05).

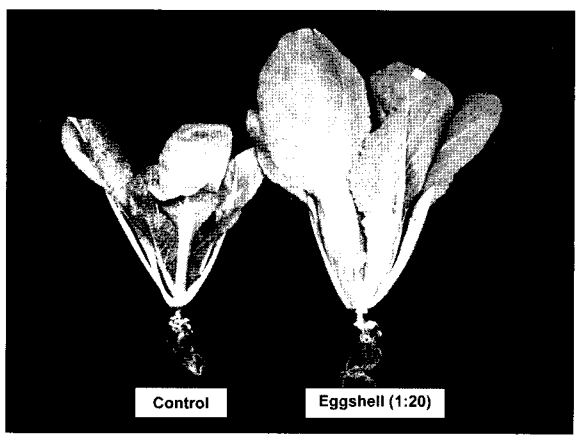

Fig. 5. Growth and clubroot development of Chinese cabbage grown in soil blended with (**right**) and without (**left**) eggshell powder and inoculated with resting spores (10^8/m*l*) of *Plasmodiophora brassicae*.

다 2배 정도 높았다(Fig. 6).

잘게 부순 달걀껍질을 입자 크기에 따라 구분하여 혼합한 토양에서의 배추 생육을 비교한 결과 입자크기가 0.8~2.0 mm인 처리구에서 지상부의 무게가 43.4 g으로 가

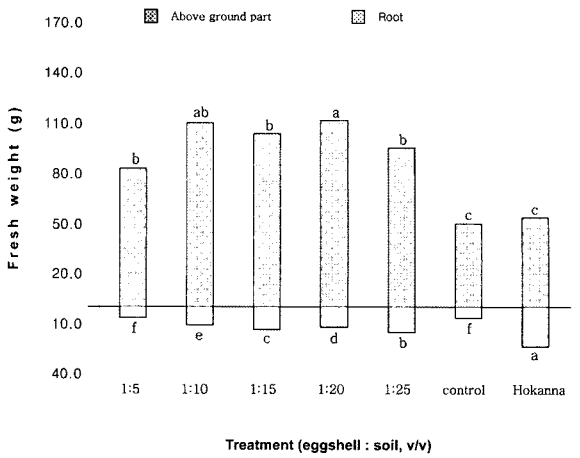

Fig. 6. Effect of eggshell powder blending into soil on the growth of Chinese cabbage inoculated with resting spores (10^8/m*l*) of *Plasmodiophora brassicae*. Hokanna: fungicide (flusulfamide) for clubroot (20 kg/10 a). Control: soil only. Columns labeled with the same letter are not significantly different in Duncan's multiple range test (P=0.05).

Table 3. Effect of eggshell particle size for soil blending on clubroot disease severity and the growth of Chinese cabbage

	Eggshell particle size (mm)			
	<0.4	0.4 ~ 0.8	0.8 ~ 2.0	>2.0
Above ground fresh weight (g)	37.0a	37.8a	43.4a	38.2a
Disease severity (%)	17.6a	22.9a	17.9a	26.8a

장 높았지만 다른 처리구와의 통계적 유의차는 보이지 않았다(Table 3).

달걀껍질 입자크기와 배합비율에 따른 발병률 변화. *P. brassicae*를 인공접종한 달걀껍질 배합 토양의 pH를 보면 달걀껍질 처리구가 모두 pH 8.0 이상으로 높게 나타났고 달걀껍질 처리간에 통계적 유의차는 보이지 않았다. 무처리구와 혹안나처리구는 모두 pH 7.5이하로 달걀껍질 처리구 보다 낮게 나타났다(Fig. 7).

달걀껍질의 입자 크기는 달걀껍질의 무사마귀병 억제

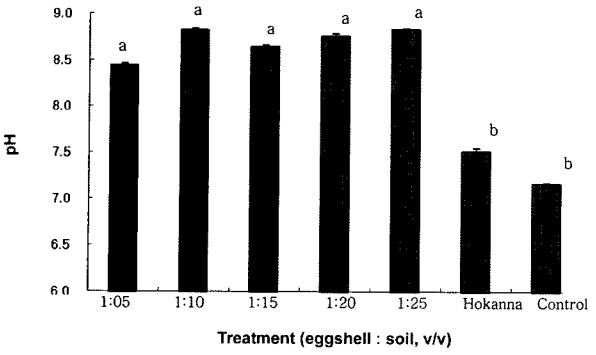

Fig. 7. Effect of the eggshell powder blending on soil pH. Hokanna: fungicide (flusulfamide) for clubroot (20 kg/10 a). Control: soil only. Error bars represent the standard deviation. Columns labeled with the same letter are not significantly different in Duncan's multiple range test (P=0.05).

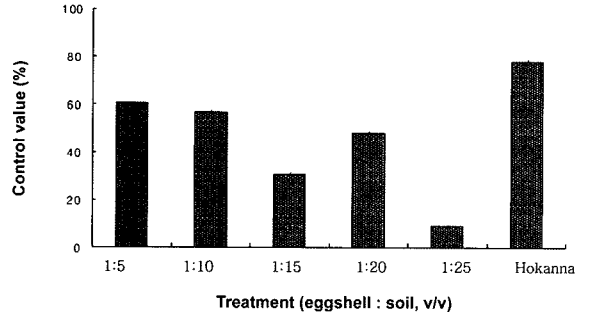

Fig. 8. Iitnhibory effect of eggshell powder blending into soil on clubroot disease of Chinese cabbage inoculated with resting spores (10^8/ml) of *Plasmodiophora brassicae*. Hokanna: fungicide (flusulfamide) for clubroot (20 kg/10 a). Control values were calculated by disease severities of treatments and soil only (no treatment). Error bars represents the standard deviation. Columns labeled with the same letter are not significantly different in Duncan's multiple range test (P=0.05).

효과에 별다른 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 수치상으로는 입자크기 0.4 mm 이하 처리구에서 발병률이 가장 낮았지만 다른 처리구와 비교할 때 통계적 유의차는 보이지 않았다(Table 3).

한편, 달걀껍질 배합비율에 따른 무사마귀병 발생률을 보면 혹안나 처리구에서의 생체중은 무처리구보다도 약 7.0% 정도 떨어졌으나, 무사마귀병 방제가는 78.5%로 가장 높았다(Fig. 6과 8). 지상부의 생육이 가장 좋았던 20:1의 달걀껍질 처리구에서의 무사마귀병에 대한 방제가는 58.5%로 혹안나 처리구에 비하여 30% 정도 저조하였으며, 5:1의 달걀껍질 처리구 역시 방제가가 60.8%로 다른 달걀껍질 처리구보다 높았으나 대조약제 처리구 보다는 낮았다(Fig. 8). 배추의 생육은 모든 달걀껍질 처리구에서 무처리구나 살균제인 혹안나 처리구보다 우수하였지만, 달걀껍질 처리구의 무사마귀병 방제효과는 혹안나 처리구보다는 다소 떨어졌다(Fig. 6).

고 찰

예전부터 무사마귀병의 방제에 석회를 사용(Campbell과 Greathead, 1989)하여 왔던 것을 감안할 때, 석회와 같이 주성분이 Ca^{2+}인 달걀껍질도 무사마귀병의 방제에 사용할 수 있을 것이라는 가정으로부터 본 연구는 시작되었다. 실제로 본 연구의 결과, 달걀껍질은 본 연구에서 조사한 작물들의 종자발아에 별 영향을 주지 않았다. 다만, 무사마귀병에 감수성 작물인 '노랑봄배추'에서는 달걀껍질의 토양 내 배합비율이 높아짐에 따라서 종자발아율이 떨어지는 경향을 보이기는 하였으나 통계적으로는 무처리구와 차이가 없는 것으로 나타났다. 즉, 토양에 달걀껍질을 첨가하여도 작물의 발아율에는 변화가 없을 것으로 판단된다. 그러나, 작물의 생육에 있어서는 이와 반대현상이 나타나, '노랑봄배추'에서는 토양:달걀껍질=20:1 처리구에서 가장 좋은 생육을 보인 반면, 다른 작물에서 모두 무처리에서 생육이 가장 좋았다. 즉, '노랑봄배추'를 제외한 다른 작물에서는 달걀껍질이 오히려 작물의 생육을 저해하는 것으로 나타났다. 따라서 달걀껍질을 처리하면 오히려 작물의 생육이 떨어지는 경우가 있을 수 있기 때문에 토양에 달걀껍질을 처리하기 위해서는 적절한 처리시기와 처리량을 결정하여야 할 필요가 있다.

배추 무사마귀병은 온도가 비교적 낮고 비가 자주 와서 습하고, pH 6.0 이하의 산성 토양에서 잘 발생한다. 병원균인 *P. brassicae*의 휴면포자는 pH가 높아짐에 따라서 활성이 떨어진다고 알려져 있으며, 발아최적 pH는 6.0~6.2이고, pH 8.0 이상에서는 발아할 수 없다. 따라서 토양의 수분관리를 철저히 하고 pH를 높게 유지하면 병발생을 줄일 수 있다는 것이 정설이다(김 등, 2000b). 본 연구에서도, 달걀껍질을 처리했을 때 pH가 상승하고 휴면포자의 활성을 크게 떨어 지는 현상을 관찰하였다. 휴면포자를 달걀껍질 수용액에 3일간 배양 하였을 때의 불활성화율은 무처리의 약 6배 가까이 되었는데(Fig. 4), 이는 휴면포자와 pH의 관계를 연구한 Myers와 Campbell (1985)의 보고와 일치하는 것이다. 그들은 칼슘과 마그네슘이 발병을 억제한다고 보고 하였는데, 칼슘의 발병 억제 기작을 밝히지는 못하였다. 그러나 본 실험에서는 증류수에 달걀껍질 가루만을 첨가한 용액에 휴면포자를 배양하여 불활성화율을 조사하였으므로, 달걀껍질의 99% 이상을 차지하고 있는 Ca^{2+}이 *P. brassicae*의 휴면포자 활성을 떨어뜨려 발병을 억제하는 것으로 보인다. 물론, pH 조절에 사용한 강산(HCl)과 강염기(NaOH)의 영향을 배

제할 수는 없지만, 달걀껍질을 처리하지 않은 채 이들 용액으로 pH만을 조절한 액체에서는 휴면포자 활성억제율이 매우 낮았던 결과는 HCl이나 NaOH 같은 물질보다는 달걀껍질에 포함된 칼슘이 휴면포자의 활성을 직접적으로 억제하고, 상대적으로 토양병원균의 밀도를 낮춰 발병을 억제한다는 추론을 가능케 한다.

*P. brassicae*의 휴면포자는 주로 5 cm 이내의 표토층에 많이 존재하므로(김 등, 2000b) Ca^{2+}을 주성분으로 함유하고 있는 달걀껍질을 토양에 시용한다면 휴면포자의 활성을 억제하여 기주에 침입하는 병원균의 밀도를 낮추는 효과가 있을 것이므로 효과적인 병 방제 방안으로 개발할 수 있을 것이라 생각한다.

달걀껍질의 입자 크기는 배추의 생육과 발병률에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났는데, 이는 석회 입자 크기가 무사마귀병의 발병률과 상관이 있다고 보고한 Dobson 등(1983)의 연구결과와는 다른 것이다. 본 연구에서는 달걀껍질의 입자 크기가 작을수록 병발생이 적었다. 그러나, Dobson 등(1983)의 실험에서는 토양에 시용한 석회 처리량이 44 kg/10 a로 본 실험에서 사용한 달걀껍질 시용량인 2.5 kg/m^2(2500 kg/10 a)보다 훨씬 적었으며, 병원균의 접종밀도 또한 본 실험의 1/100 정도였으므로, 두 실험을 그대로 비교하여 발병률에 대한 입자 크기의 영향을 결론 짓기에는 어려움이 있었다. 본 연구에서 확인한 바로는 달걀껍질의 입자 크기가 2 mm 이하에서는 무사마귀병의 발생에 변화가 없었기 때문에, 포장에 처리할 때는 달걀껍질을 분쇄기로 갈아 입자크기 2 mm 이하인 것을 사용하였다. 또한, 온실실험에서 달걀껍질의 배합비율이 20:1이었을 때 배추의 생육이 가장 좋았기 때문에 포장실험에서도 달걀껍질 배합 비율을 20:1(2.5 kg/m^2)로 처리하여 결과를 얻고자 하였다.

달걀껍질을 처리하였을 경우 토양의 pH가 1 이상 증가하였는데, 이는 달걀껍질의 주성분인 칼슘의 효과인 것으로 판단되며, 칼슘의 토양 pH 증가효과와 무사마귀병 발병 억제효과는 Campbell 등(1985)의 연구에서 이미 입증된 바 있다.

토양에 달걀껍질을 첨가하였을 때 무사마귀병에 저항성품종인 CR그린배추의 생육은 억제되었으나 감수성품종인 '노랑봄배추'의 생육은 촉진되었다. 또한 무사마귀병균의 휴면포자가 만연해 있는 토양에서도 달걀껍질은 무처리구와 비교하여 배추의 생육을 2배 이상 촉진하였으므로 이병토양에 달걀껍질을 처리하면 배추의 생육에 도움이 된다고 할 수 있다. 그러나, 달걀껍질 처리구에서의 무사마귀병 방제가는 약제처리구(혹안나)보다는 낮았으므로, 포트실험에서의 무사마귀병 방제효과는 떨어지는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 달걀껍질이 *P. brassicae*의 휴면포자를 불활성화 시키고 토양을 알칼리화(pH 7.2 이상)하여 무사마귀병의 발병을 억제한다는 실내실험의 결과와는 부합되지 않는 것이었다. 그러나, 무사마귀병 발생은 토양 수분포텐샬(water potential)의 영향을 많이 받으며(Iwama 등, 1994), 토양의 생물성과 무생물성에 의해서 복합적으로 영향을 받기(Murakami 등, 2000) 때문에 포트실험의 결과는 실내실험과 같이 변이요인이 적은 조건 하에서의 실험결과와는 다른 경우가 많다.

본 실험에서 달걀껍질은 토양의 생물상과 전기전도도에 큰 변화를 주지 않았으므로(자료 미제시) 환경친화적이라 할 수 있으며, 토양 첨가제로서의 가능성도 충분하다고 생각한다. 또한, 달걀껍질처리는 무사마귀병 방제용 살균제인 혹안나 만큼 발병을 억제하지는 못하였으나 배추의 지상부 생육을 촉진하고 토양에 존재하는 병원균의 밀도를 감소시켜 상대적으로 무사마귀병의 피해를 줄여주는 것이 밝혀졌다. 따라서, 무사마귀병 방제에 달걀껍질을 사용하는 것은 심각한 산업폐기물인 달걀껍질의 새로운 용도개발과 아울러, 무사마귀병 감수성 배추 품종의 상품성을 높여주는 효과를 기대할 수도 있을 것이다. 또한, 배추 무사마귀병을 환경친화적으로 방제하고 합성농약의 사용을 줄이는 데도 기여할 것으로 기대한다.

요 약

달걀껍질을 1:5, 1:10, 1:15, 1:20, 1:25의 비율로 토양에 혼화처리 하였을 때 배추를 비롯한 몇 가지 작물의 종자 발아율에는 별다른 변화가 없었다. 달걀껍질 혼화수용액의 pH는 증가하였으며, 수용액의 pH가 증가할수록 *Plasmodiophora brassicae*의 휴면포자 활성율은 감소하였는데, 달걀껍질 혼화수용액에서의 불활성화율이 같은 pH의 수용액에서의 불활성화율보다 5배 이상 높았다. '노랑봄배추'는 달걀껍질을 토양에 혼화하였을 때 무처리에 비하여 생육이 증가한 반면, 다른 작물들의 생육은 달걀껍질 처리구에서 무처리보다 저조하였다. '노랑봄배추'는 달걀껍질을 1:20~1:15로 토양에 혼화하였을 때 엽수는 무처리의 약 150%, 지상부 생체중은 무처리의 약 470% 증가율을 보였다. 토양에 혼화한 달걀껍질 입자의 크기는 0.8~2.0 mm일 때 배추 생장에, 그리고 0.4 mm 이하일 때 병 억제율에 가장 좋은 영향을 미쳤으나, 입자의 크기간에 통계적 유의차는 없었다. 토양의 pH는 모든 달걀껍질 처리구에서 8.0 이상으로 높게 나타났으며, 혼화비율에 따른 통계적 유의차는 보이지 않았다. 무사마귀병 방제가는 달걀껍질 1:20 처리구에서 58.5%로 공시살균제인 혹안나

처리구의 78.5% 보다는 낮았으나 배추의 지상부 생육에 있어서는 모든 달걀껍질 처리구에서 무처리나 대조약제 처리구 보다 높았다. 따라서 달걀껍질의 토양혼화는 배추 무사마귀병을 완전히 방제하지는 못하지만 배추의 생육을 촉진하여 감염포장에서도 배추 수확을 가능하게 할 수 있을 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지역혁신센터(RIC) 사업의 일환으로 서원대학교 친환경 바이오 소재 및 식품 센터(BioRIC)의 연구비 지원과 교육과학기술부 Brain Korea 21 충북대학교 바이오농업기술실용화사업단의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

Asano, T., Kageyama, K. and Hyakumachi, M. 1999. Surface disinfestations of resting spores of *Plasmodiophora brassicae* used to infect hairy roots of Brassica spp. *Phytopathology* 89:314-319.

Buczacki, S. T. and White, J. G. 1979. The value of soil sterilants for the control of clubroot on a field scale. *Plant Pathology* 28:36-39.

Campbell, R. N., Greathead, A. S., Myers. D. F. and de Boer, G. J. 1985. Factors related to control of clubroot of crucifers in the Salinas Valley of California. *Phytopathology* 75: 665-670.

Campbell, R. N. and Greathead, A. S. 1989. Control of clubroot of crucifers by liming. pp. 90-99. *In: Management of diseases with macro-and microelements.* Engelhard, A. W. The American Phytopathological Society.

Dobson, R. and Gabrielson, R. L. 1983. Evidence that clubroot development requires infection by both primary and secondary zoospores of *Plasmodiophora brassicae*. *Phytopathology* 73: 559-561.

Dobson, R. L., Gabrielson, R. L., Baker, A. S. and Bennett, L. 1983. Effects of lime particle size and distribution and fertilizer formulation on clubroot disease caused by *Plasmodiophora brassicae*. *Plant Dis.* 67: 50-52.

Donald, E. C., Lawrence, J. M. and Porter, I. J. 2002. Evaluation of a fluorescent staining technique as an indicator of pathogenicity of resting spores of *Plasmodiophora brassicae*. *Australasian Plant Pathology* 31: 373-379.

함영일, 권민, 김점순, 서효원, 안재훈. 1998. 강원도 고랭지 주요 원예작물의 병해 발생 상황. 한국식물병리학회지 14: 668-675.

Iwama, H., Osozawa, S., Ushiroda, T. and Kubota, T. 1994. Analysis of soil water matric potential requirement for infection of turnip with *Plasmodiophora brassicae* using negative pressure water circulation technique. *Soil Sci. Plant Nutr.* 40: 293-299.

김두욱, 오정행. 1997. 배추 무사마귀병의 발생상황과 병원(*Plasmodiophora brassicae*)의 병원성 및 배추품종의 병저항성. 한국식물병리학회지 13: 95-99.

김충회, 조원대, 김흥모. 2000b. 배추무사마귀병균 휴면포자의 발아 및 생존에 미치는 몇가지 환경요인. 한국농약과학회지 4: 66-71.

Murakami, H., Tsushima, S. and Shishido, Y. 2000. Soil suppressiveness to clubroot disease of Chinese cabbage caused by *Plasmodiophora brassicae*. *Soil Biology & Biochemistry* 32: 1637-1642.

Myers, D. F. and Campbell, R. N. 1985. Lime and the control of clubroot of crucifers: effects of pH, calcium, magnesium, and their interactions. *Phytopathology* 75: 670-673.

Narisawa, K., Kageyama, K. and Hashiba, T. 1996. Efficient root infection with single resting spores of *Plasmodiophora brassicae*. *Mycol. Res.* 100: 855-858.

Narisawa, K. and Hashiba, T. 1998. Development of resting spores on plants inoculated with a dikaryotic resting spore *Plasmodiophora brassicae*. *Mycol. Res.* 102: 949-952.

농촌진흥청. 2001. 십자화과 채소의 뿌리혹병 발생생태 및 방제대책 연구. 대형공동과제 완결보고서. 111 pp.

Osozawa, S., Iwama, H. and Kubota, T. 1994. Effect of soil aeration on the occurrence of clubroot disease of crucifers. Soil Sci. *Plant Nutr.* 40: 445-455.

Tanaka, S., Kochi, S. I., Kunita, H., Ito, S. I. and Kameya-Iwaki, M. 1999. Biological mode of action of the fungicide, flusulfamide, against Plasmodiophora brassicae (clubroot). *European Journal of Plant Pathology* 105: 577-584.

Takahashi, H., Takita, K., Kishimoto, T., Mitsui, T. and Hori, H. 2002. Ca^{2+} is required clubroot resistants turnip cells for transient increases in PAL activity that follow inculation with *Plasmodiophora brassicae*. *J. Phytopathol.* 150: 529-535.

양창술, 김종식. 2002. 토양미생물실험법. 월드사이언스. 453 pp.